

DFW

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 10/667,130 Confirmation No. : 7174  
First Named Inventor : Kai RUELKE  
Filed : September 22, 2003  
TC/A.U. : 3745  
Examiner : C. M. Verdier  
  
Docket No. : 011235.52769US  
Customer No. : 23911  
  
Title : Run-In Coating for Axial-Flow Compressor of Gas Turbine  
Engines and Method of Using and Making Same

**CLAIM OF PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119**

**Mail Stop Issue Fee**  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

The benefit of the filing date of prior foreign application No. 102 44 038.7 filed in Germany on September 21, 2002, is hereby requested and the right of priority under 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of the original foreign application.

Respectfully submitted,

March 1, 2005

Donald D. Evenson  
Registration No. 26,160

CROWELL & MORING LLP  
Intellectual Property Group  
P.O. Box 14300  
Washington, DC 20044-4300  
Telephone No.: (202) 624-2500  
Facsimile No.: (202) 628-8844

DDE/ajf

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 44 038.7

**Anmeldetag:** 21. September 2002

**Anmelder/Inhaber:** MTU Aero Engines GmbH, München/DE

**Bezeichnung:** Einlaufbelag für Axialverdichter von Gasturbinen,  
insbesondere von Gasturbinentriebwerken

**IPC:** F 04 D 29/16

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 7. Oktober 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

## Einlaufbelag für Axialverdichter von Gasturbinen, insbesondere von Gasturbinen- triebwerken

Die Erfindung betrifft einen als Spaltdichtung zwischen Stator und Rotor der Axialverdichterstufe eines Gasturbinentriebwerkes dienenden Einlaufbelag.

Mit Hilfe solcher Einlaufbeläge werden bekanntlich die Betriebspalte zwischen Stator und Rotor solcher Axialverdichter minimalisiert, was erheblichen konstruktiven, werkstofftechnischen und verfahrenstechnischen Aufwand erfordert.

10

Die Ursachen hierfür sind das unterschiedliche dynamische Betriebsverhalten von Rotor- und Stator Durchmesser; während die Rotoren aufgrund der Fliehkräfte und der thermischen Dehnung wachsen, wachsen die Gehäuse nur aufgrund thermischer Dehnungen. Der zeitliche Ablauf ist bei Rotor und Stator (Gehäuse) verschieden. Hinzukommen unsymmetrische Auslenkungen des Rotors, z.B. bei einem Kurvenflug eines das Triebwerk tragenden Flugzeuges sowie durch axiale Bewegungen der Rotoren während des Betriebes.

15

Zur Minimalisierung des Spaltdefizits zwischen Stator und Rotor wurden bisher Einlaufbeläge aus Silikon verwendet, die in einer sich über den gesamten Umfang des Stators erstreckenden und im Innenbereich des Stators erstreckenden und im Innenbereich des Stators vorliegenden Gehäusevertiefung im zugeordneten Laufschaufelbereich angeordnet sind. Somit wird im Falle eines Auslenkens des Rotors bei Kurven- und/oder Steig- oder Sinkflügen des das Triebwerk tragenden Flugzeugs ein Einlaufen der Rotorschaufeln in den genannten Einlaufbelag ermöglicht, ohne dass dabei die Laufschaufeln einschließlich der Laufschaufelspitzen beschädigt werden.

20

25

Axialverdichter der genannten Art weisen in Betriebsfällen, die nicht dem Auslegungspunkt entsprechen, also z.B. im Teillastbereich, eine Verringerung des Pumpgrenzabstandes auf. Um diesen nachteiligen Effekt zu kompensieren und um die Pumpgrenze in Bereiche kleinerer Durchsätze zu verschieben, nutzt man heutzutage spezielle konstruktive Maßnahmen, in der Fachwelt als Casing Treatment

30

bekannt, die in den Gehäusen ausgebildet und im Schaufeleinlaufbereich angeordnet sind. Casing Treatments mit Umfangsrillen, wie in den Druckschriften JP 09-144699 A oder US 4,063,848 beschrieben, zeigen dabei im Teillastfall einen moderaten Pumpgrenzgewinn und weisen keinen Wirkungsgradverlust auf.

5

Eine Ausführungsform eines Casing Treatments in einem hier nicht näher beschriebenen Gasturbinentriebwerk stellt dabei die Anordnung einer bestimmten Anzahl von umlaufenden Radialnuten, auch Umfangsnuten oder Umfangsrillen genannt, mit einer bestimmten Tiefe, einer bestimmten Breite und einer bestimmten Formgebung im Nutgrund im Silikon-Schaufeleinlaufbelag mit einer bestimmten Position bezogen zum Laufschaufelbereich dar.

10

Trotz der relativen Weichheit von Silikon hat es sich gezeigt, dass im Betrieb Schäden an der Eintrittskante zur ersten Umfangsnut des Einlaufbelags in Form halbkreisförmiger Ausbrüche auftreten, was unerwünschte Verluste zur Folge hat.

15

Messungen zeigen, dass Änderungen im Rundumspalt des Verdichters in der Größenordnung von 0,1 mm bereits zu einem Wirkungsgradverlust von 1% führen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde hier Abhilfe zu schaffen durch einen neuen Einlaufbelag, der trotz ausreichender Weichheit zur Aufnahme radialer Rotorauslenkungen in Folge thermischer Dehnungen und aerodynamischen Belastungen genügend standfest für die Aufnahme solcher Dauerbelastungen ist.

20

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch die Verwendung von zu Bürsten zusammengefassten Büscheln von Metalldrähten als Einlaufbelag für die Axialverdichterstufe von Gasturbinentriebwerken.

25

Hierzu bilden die Bürsten ein den Laufschaufelbereich der Axialverdichterstufe rundum überdeckendes Bürstenfeld.

30

Nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die mit ihren freien Enden den Rotorschaufelenden zugewandten, zu Bürsten zusammengefassten Metalldrahtbüschel mit ihren abgewandten Enden direkt in korrespondierende

rundum angeordnete Nuten des den Rotor umfassenden Stators (Gehäuse) eingebracht.

5 Nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung sind die die abgewandten Enden der Metalldrahtbüschel aufnehmenden Nuten in Bürstensegmenten angeordnet, die in einer rundum im Stator (Gehäuse) befindlichen Ausnehmung gehalten sind.

10 Die die abgewandten Enden der Metalldrahtbüschel aufnehmenden Nuten weisen einen schwalbenschwanzförmigen Querschnitt auf und sind nach Einfügen der Drahtbüschel mit einem temperaturbeständigen Harz ausgegossen.

15 Vorzugsweise sind die abgewandten Enden der Metalldrahtbüschel jeweils von einem stabförmigen Halter umfasst, denen im Querschnitt korrespondierende Nuten zugeordnet sind zwecks Halterung der Drahtbüschel durch Einschrumpfen im Grundmaterial des Rotors oder der Bürstensegmente.

20 Nach einem weiteren Merkmal der Erfindung bestehen die Metalldrahtbüschel aus Superlegierungen und umfassen jeweils 50 Metalldrähte pro  $\text{mm}^2$ .

25 Infolge der erfindungsgemäßen Verwendung von Bürsten als Einlaufbelag für die Axialverdichterstufe eines Gasturbinentriebwerkes können Ausbrüche an den Eintrittskanten des Einlaufbelags aufgrund der höheren Elastizität der die Bürsten bildenden Metalldrahtbüschel nicht mehr auftreten. Da das elastische Bürstenmaterial sich immer wieder in die Ursprungsrichtung der Metalldrahtbüschel rückstellt, werden Leistungsabfälle eines Triebwerkes nach dem Einlaufen von Stator und Rotor vermieden. Versuche haben gezeigt, dass die Einlaufeigenschaften solcher Bürstenfelder günstiger sind als bei Einlaufbelägen aus Silikon. Auch das Prüfen der Haftfähigkeit des Einlaufbelages am Rotor (Gehäusegrundmaterial) erweist sich als einfacher als bei solchen aus Silikon. Einlaufbeläge aus Silikon werden bekanntlich durch Einspritzen erstellt. Hierbei lässt sich nicht immer vermeiden, dass vermutlich in Folge von Zugbelastungen nach dem Aushärten des Silikons sogenannte Dellen entstehen, die nicht tolerierbar

30

sind. Beim Auftreten solcher Dellen muss der gesamte Einlaufbelag neu gefertigt werden. Dies bedingt ferner, dass ein bereichsweises Fertigen von Einlaufbelägen aus Silikon nicht möglich ist. Die Verwendung von zu Bürstenfeldern zusammengefassten Bürsten aus Metalldrahtbüscheln als Einlaufbelag ermöglicht nunmehr  
5 auch eine bereichsweise Reparatur solcher Einlaufbeläge und begünstigt ferner das notwendige zeitweise Reinigen der genannten Nuten.

Alle diese Vorteile führen dazu, dass die erfindungsgemäßen Einlaufbeläge es ermöglichen, den Pumpgrenzabstand der Verdichterstufe ohne Leistungsverlust zu  
10 erhöhen.

Die Erfindung ist nachfolgend anhand zweier in der Zeichnung mehr oder minder schematisch dargestellter Ausführungsbeispiele beschrieben. Es zeigen:

15 Fig. 1 eine Draufsicht auf einen Ausschnitt eines Gasturbinentriebwerkes im Bereich des Laufschaufelbereiches der Axialverdichterstufe mit im Statorgrundmaterial rundum eingefrästen Nuten zur Aufnahme eines aus zu Bürsten zusammengefassten Büscheln von Metall-  
drähten bestehenden Einlaufbelages,

20

Fig. 2 eine Ansicht von links auf die Stirnseite der eingefrästen Nuten gemäß dem Schnitt A-A in Fig. 1 mit teilweise eingeführten Bür-  
ten,

25 Fig. 3 ein zweites Ausführungsbeispiel des Einlaufbelages nach Fig. 1, dessen Bürsten in einzelnen Bürstensegmenten angeordnet sind, die in einer korrespondierenden rundum verlaufenden Ausnehmung des Stators gehalten sind,

30 Fig. 4 die Befestigung der abgewandten Drahtbüschelenden der Bürsten in Nuten die in das Grundmaterial des Stators eingefräst sind und

Fig. 5 die Befestigung der abgewandten Drahtbüschelenden in stabförmigen Haltern, deren Querschnitte mit denen der sie aufnehmenden Nuten korrespondieren.

- 5 Von einem hier nicht näher dargestellten mindestens einen Axialverdichter, eine Brenneinrichtung, eine Gasturbine und eine Abgasdüse umfassenden Gasturbinenrieb ist in Fig. 1 lediglich der dem Laufschaufelbereich 10 der Axialverdichterstufe 11 zugeordnete Teil ausschnittsweise gezeigt. Dieser Stator 12 und Rotor 13 umfassende Bereich trägt in einer den Laufschaufeln der Axialverdichterstufe 10 zugeordneten Vertiefung 14 des Stators 12 rundum in das Grundmaterial eingefrästen Nuten 15 – vgl. Fig. 2 – zur Aufnahme des noch zu beschreibenden Einlaufbelages EB, wobei der Querschnitt der Nuten entsprechend der Befestigungsart des Einlaufbelages kreis- oder schwalbenschwanzförmig ausgebildet ist.
- 15 Der Einlaufbelag EB besteht aus zu Bürsten 16 zusammengefassten Büscheln von Metalldrähten, die stegförmig zusammengefasst sind und mit ihren freien Enden dem lediglich durch ein Rotorblatt angedeuteten Rotor 13 zugewandt und mit ihren abgewandten Enden in die genannten hier schwalbenschwanzförmigen Nuten 15' eingreifen und dort unverrückbar gehalten sind, in dem die Nuten nach
- 20 Aufnahme der abgewandten Enden mit einem temperaturbeständigen Harz ausgegossen werden, wodurch die Bürsten eingeklebt werden.

- Anstelle die Bürsten einzukleben, können diese aber auch in die Nuten eingeschrumpft werden. Hierzu sind die stegförmig zusammengefassten Drahtbüschel
- 25 einer solchen stegförmigen Bürste jeweils an ihren abgewandten Enden von einem stabförmigen Halter 19 umfasst, dessen Querschnitt mit dem Querschnitt der ihn aufnehmenden Nut 15 jeweils korrespondiert. Um diese in die Nuten einschrumpfen zu können, muss dass die Nuten tragende Material erwärmt und nach Einfügen der Halter wieder abgekühlt werden, was zu einer sicheren Fixierung der
- 30 Halter und damit der Bürsten führt.

Als Träger der Nuten 15 können aber auch, wie in Fig. 3 dargestellt, einzelne Segmente 20 dienen, die in einer im Stator ebenfalls rundum verlaufenden Aus-

nehmung 22 ähnlich der Beschaukelung von Turbinenstufen einzusetzen sind und mit einem hier nicht dargestellten Segmentschloss – ähnlich den bekannten Schaufelschlössern – in ihrer Lage unverrückbar gehalten sind. Hierzu sind etwa dreißig Segmente notwendig, um ein den Laufschaufelbereich der Axialverdichter-  
5 stufe rundum überdeckendes Bürstenfeld zu bilden.

Wie Versuche gezeigt haben, ist die Verwendung von Superlegierungen für die Herstellung der Metalldrahtbüschel besonders vorteilhaft, wobei die einzelnen Metalldrähte einen Durchmesser von 0,14 mm aufweisen, von denen jeweils 50  
10 pro mm<sup>2</sup> zusammengefasst sind.



## Bezugszeichenliste

	10	Laufschaufelbereich
5	11	Axialverdichterstufe
	12	Stator
	13	Rotor
	14	Vertiefung
	15	Nuten
10	15'	Nuten (schwalbenschwanzförmig)
	16	Bürsten
	19	Halter
	20	Segmente
	22	Ausnehmung
15		
	EB	Einlaufbeleg

## Patentansprüche

1. Verwendung von zu Bürsten (16) zusammengefassten Büscheln von Metalldrähten als Einlaufbelag (EB) für die Axialverdichterstufe (11) von Gasturbinentriebwerken.  
5
2. Einlaufbelag mit zu Bürsten zusammengefassten Büscheln von Metalldrähten gemäß Anspruch 1 für eine Axialverdichterstufe (11) von Gasturbinentriebwerken, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bürsten (16) ein den  
10 Laufschaufelbereich (10) der Axialverdichterstufe (11) rundum überdeckendes Bürstenfeld bilden.
3. Einlaufbelag nach den Ansprüchen 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mit ihren freien Enden den Rotorscheufelenden (13) zugewandten, zu Bürsten zusammengefassten Metalldrahtbüschel mit ihren abgewandten Enden in korrespondierende, rundum im Grundmaterial angeordnete Nuten (15) eines dem Rotor (13) zugeordneten Stators (12) eingebracht sind.  
15
4. Einlaufbelag nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die abgewandten Enden der Metalldrahtbüschel aufnehmenden Nuten (15) in einzelnen Bürstensegmenten (20) angeordnet sind, die in einer rundum im Stator (12) befindlichen Ausnehmung (22) gehalten sind.  
20
5. Einlaufbelag nach den Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die die freien Enden der Metalldrahtbüschel aufnehmenden Nuten einen schwalbenschwanzförmigen Querschnitt (15') aufweisen und nach Einfügen der abgewandten Enden der Metalldrahtbüschel mit einem temperaturbeständigen Harz ausgegossen sind.  
25
6. Einlaufbelag nach den Ansprüchen 1, 2 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die freien Enden der die Bürsten (16) bildenden Metalldrahtbüschel  
30

jeweils von einem stabförmigen Halter (19) umfasst sind, denen im Querschnitt korrespondierende Nuten (15) zugeordnet sind, zwecks Halterung der Metalledrahtbüschel durch Einschrumpfen.

- 5 7. Einlaufbelag nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Metalledrahtbüschel aus Superlegierungen bestehen, deren einzelne Drähte einen Durchmesser von 0,14 mm aufweisen, wobei pro mm<sup>2</sup> jeweils 50 Drähte zusammengefasst sind.

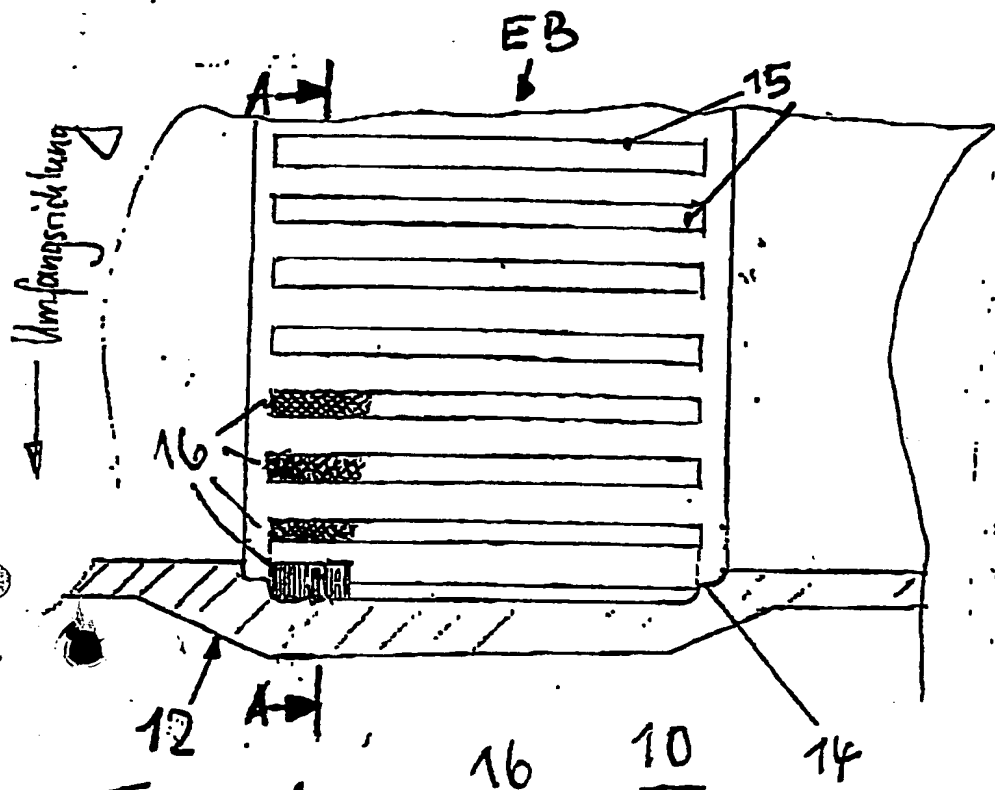


Fig. 1

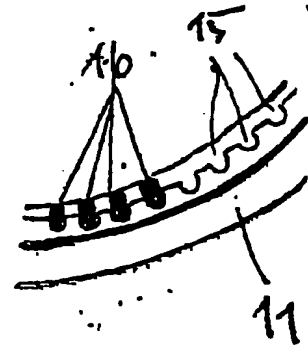


Fig. 2

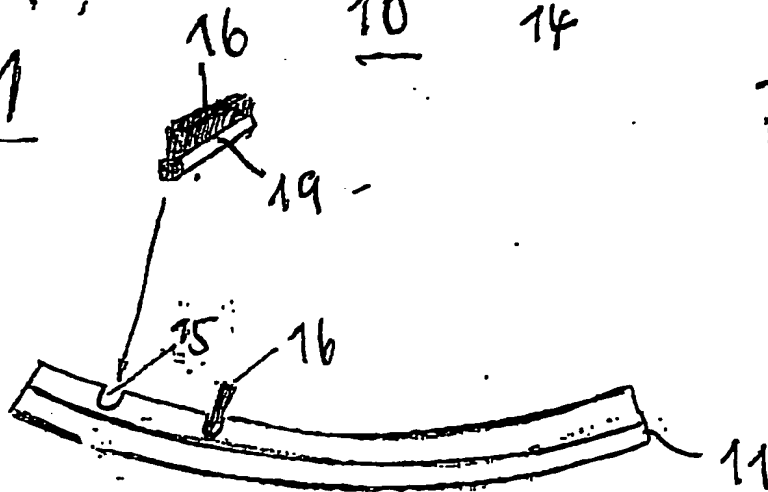


Fig. 5

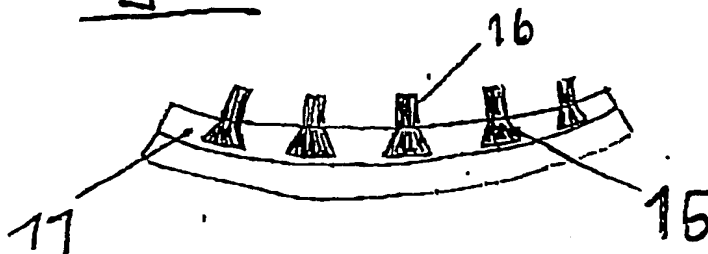


Fig. 4

037236

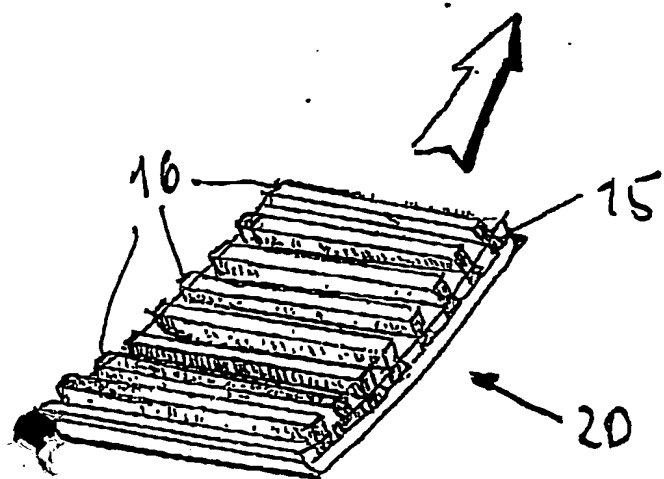
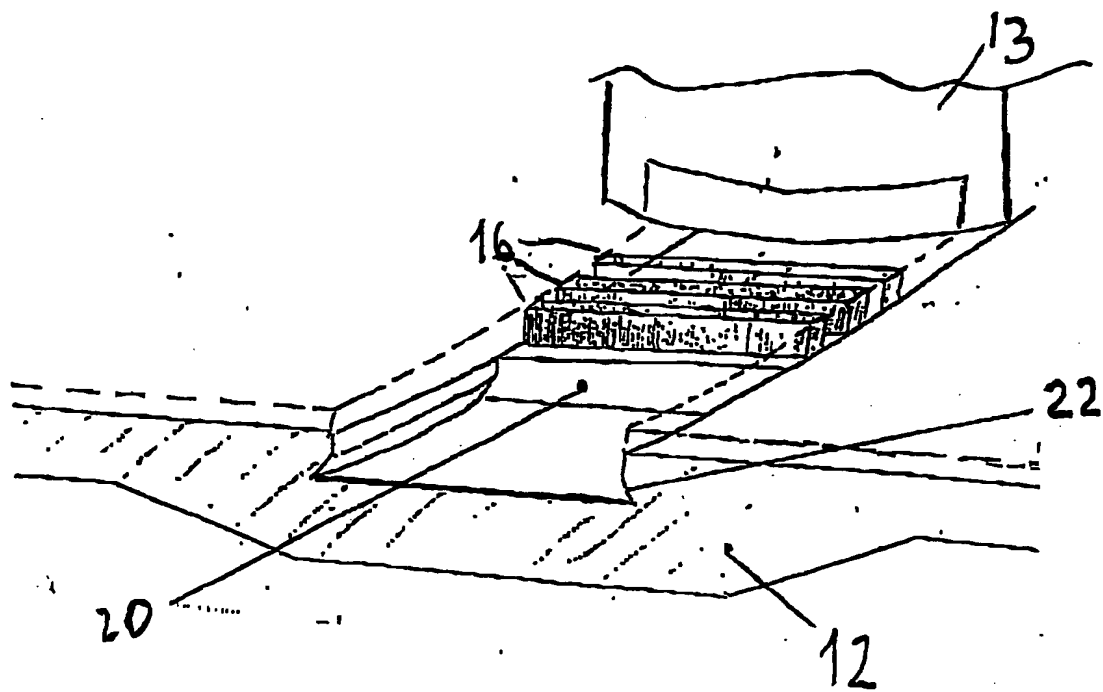


Fig. 3

## Zusammenfassung

Verwendung von zu Bürsten zusammengefassten Büscheln von Metalldrähten als  
5 Einlaufbelag (EB) für die Axialverdichterstufe (11) eines Gasturbinentriebwerkes,  
wobei die Metalldrahtbüschel in das Grundmaterial oder aber zu Bürstensegmen-  
ten (20) zusammengefasst in korrespondierende Ausnehmungen des Rotors (Ge-  
häuses 12) eingebracht sind.

(Fig. 3)

10

15

037236

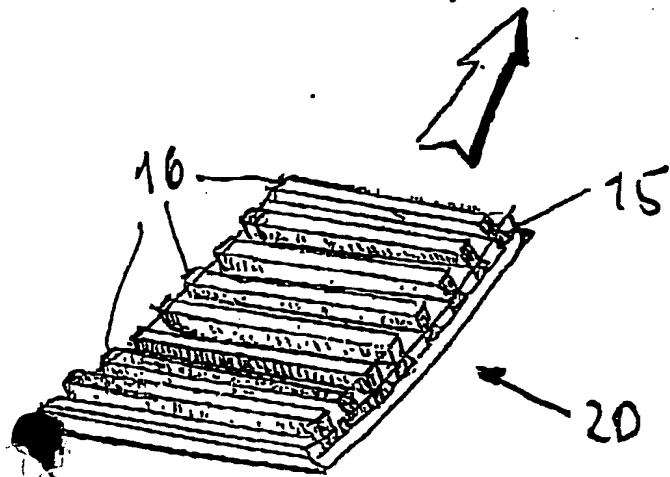
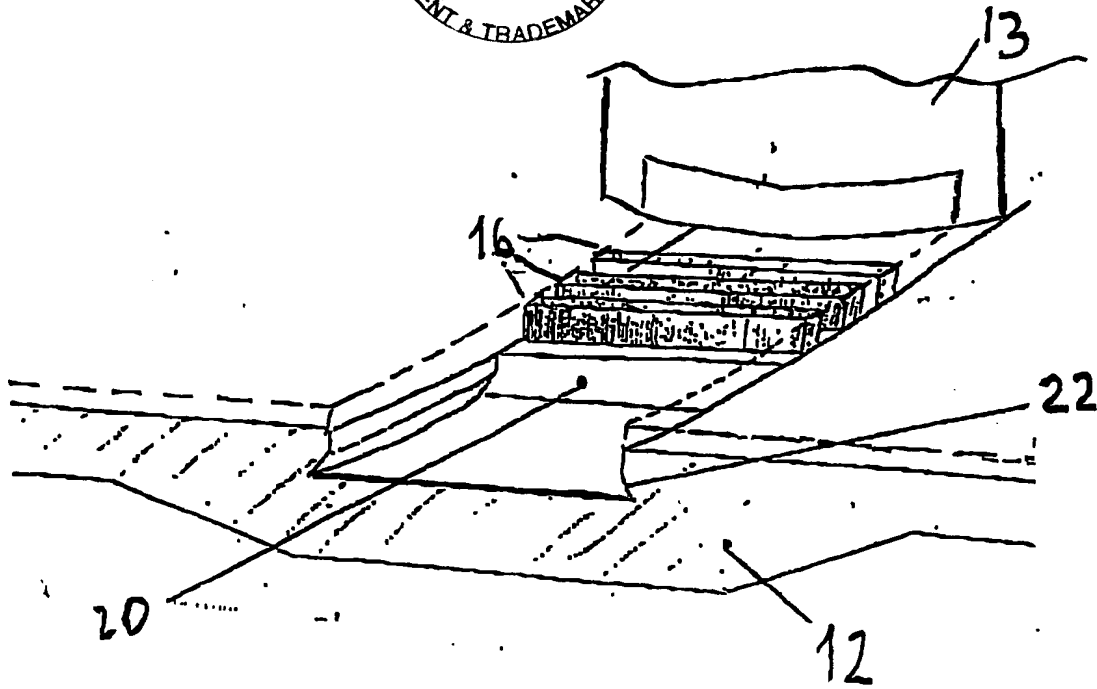


Fig. 3